

PENGGUNAAN MODEL PENYELIDIKAN OPERASI DALAM INDUSTRI: MODEL PENGANGKUTAN

Muzalna Mohd Jusoh¹, Adam Baharum²

¹ Pusat Perkhidmatan Akademik, Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia, Karung Berkunci 1200,
Ayer Keroh, 75450 Melaka, Malaysia.

¹ muzalna@kutkm.edu.my

² Pusat Pengajian Sains Matematik, Universiti Sains Malaysia, 11800 Minden, Pulau Pinang.
adam@cs.usm.my

Kertas ini membincangkan penggunaan model pengangkutan sebagai salah satu model penyelidikan operasi untuk menyelesaikan masalah dalam industri pengangkutan. Kajian memberi penekanan terhadap pengangkutan barangan (darat) daripada banyak tempat penawaran kepada banyak tempat permintaan sama ada secara terus atau melalui titik pemunggaan. Pengangkutan barangan bukan sahaja sebagai alat untuk mengagihkan barangan di pasaran, tetapi juga boleh mempengaruhi harga barangan tersebut di pasaran. Oleh itu, kos pengangkutan amat dititikberatkan oleh pelanggan di samping perkhidmatan yang diberikan. Tujuan kajian ini ialah untuk mendapatkan suatu rancangan pengangkutan yang meminimumkan jumlah kos pengangkutan bagi memenuhi kehendak tersebut. Model matematik digunakan untuk memformulasikan masalah dan diaplikasikan ke atas sebuah organisasi yang mengambil upah mengangkut barangan di Malaysia. Melihat kepada keadaan pasaran yang sentiasa berubah-ubah, analisis kepekaan digunakan untuk memberikan maklumat penting kepada organisasi disamping dapat mengelakkan pembaziran kos. Sebagai tambahan, model dikembangkan kepada model matlamat berbilang di mana lebih daripada satu matlamat dipertimbangkan. Pengesahan model dilakukan dengan menggunakan model simulasi dan didapati bahawa model mampu memberikan gambaran perancangan pengangkutan yang baik kepada sistem sebenar.

Katakunci : penyelidikan operasi; model pengangkutan; model matematik.

1. Pengenalan

Bidang pengangkutan adalah asas kepada pembangunan ekonomi setiap negara [Chetthamrongchai dan rakan rakan (2001)]. "*No nation has become great that did not give major attention to the development of transportation*" [Muhammad Harun(1983)]. Kita dapat perhatikan bahawa beberapa ekonomi membangun dunia telah dilanda masalah memampatkan daya saing akibat ketidakupayaan industri pengangkutan mereka menyediakan perkhidmatan yang cekap dan berkesan [Abdul Halim Ali(1996)]. Oleh itu, industri pengangkutan memainkan peranan penting dalam menyokong pertumbuhan ekonomi negara.

Melihat kepada keadaan pasaran yang semakin berdaya saing, pengusaha perlu menawarkan kos pengangkutan yang minimum dan perkhidmatan yang terbaik berbanding pesaing. Dalam hal ini, penggunaan intuisi dan pengalaman sahaja masih tidak mencukupi dalam proses pembuatan keputusan terutamanya dalam situasi yang kompleks. Oleh itu, kaedah penyelidikan operasi akan digunakan untuk mencapai matlamat tersebut.

Objektif kertas kerja ini ialah menghasilkan satu model matematik yang baik supaya penyelesaiannya dapat mewakili penghampiran yang baik kepada penyelesaian sistem sebenar organisasi pengangkutan yang dipilih. Penyelesaian yang di maksudkan ialah satu rancangan (*skedul*) pengangkutan yang menentukan jalan arah terbaik supaya dapat meminimumkan kos pengangkutan. Rancangan pengangkutan ini akan menentukan amaun yang patut diangkut dari setiap titik bekalan (*punca*) ke setiap titik permintaan (*destinasi*).

Kertas kerja ini mempunyai beberapa bahagian. Bahagian berikutnya akan membincangkan tentang model matematik. Bahagian 3 ialah pembinaan model matlamat tunggal dan matlamat berbilang. Seterusnya dalam bahagian 4 akan membincangkan analisis kepekaan dan bahagian 5 ialah pengesahan model iaitu membuat perbandingan antara hasil yang diperolehi daripada model kajian dengan hasil daripada Simulasi Monte Carlo. Bahagian akhir ialah kesimpulan ringkas mengenai kertas ini.

2. Model matematik

Model matematik merupakan model yang paling penting kerana kemampuannya mewakili berbagai-bagai masalah sebenar. Semua pembolehubah masalah diwakilkan dengan simbol-simbol matematik manakala matlamat dan kekangan diungkapkan dengan menggunakan persamaan atau ketaksamaan. Model ini mengandaikan semua pembolehubah, kekangan dan matlamat bagi setiap masalah boleh dikuantitikan.

Selalunya proses menganalisis model matematik memerlukan kurang masa, usaha dan kos di mana ini boleh menjimatkan kos perbelanjaan organisasi dalam proses pembuatan keputusan.

Model matematik yang terlibat dalam kertas kerja ini ialah model pengangkutan dan perluasannya iaitu model pemunggaran. Matlamat kita adalah untuk meminimumkan kos pengangkutan. Namun, dalam keadaan sebenar selalunya wujud lebih daripada satu matlamat. Oleh itu, pembinaan model kita melibatkan model matlamat tunggal dan model matlamat berbilang.

3. Pembinaan Model Matematik

Tujuan utama pembinaan model adalah untuk mengoptimumkan sistem. Kita berminat untuk mencari penyelesaian yang terbaik atau biasanya disebut penyelesaian optimum (maksimum atau minimum).

Kajian ini memilih sebuah organisasi yang memperolehi keuntungan dengan menjalankan kegiatan mengambil upah mengangkut barangan separuh siap dan barangan siap di dalam Malaysia (domestik) dan luar Malaysia (antarabangsa). Organisasi memulakan operasi pada 10 September 1974 dan berpusat di Shah Alam, Selangor. Mereka menyediakan perkhidmatan selama 24 jam sehari bagi muatan penuh trak (*Full Truck Load*) dan muatan tak penuh trak (*Loose Truck Load*).

Model pengangkutan yang akan dibina hanya mempertimbangkan pengangkutan domestik untuk bahagian Semenanjung Malaysia sahaja memandangkan proses perolehan data adalah terhad (kebanyakan data adalah tertakluk di bawah Akta Sulit syarikat). Maka kajian akan memberi perhatian ke atas proses pengangkutan barangan di antara bandar-bandar di Semenanjung Malaysia di mana skop kewibawaan model yang dirumuskan dihadkan dengan hanya mengambilkira data yang tersedia ada sahaja.

Proses pengangkutan yang akan dikaji hanya melibatkan pusat-pusat pengedaran sebagai titik bekalan dan titik permintaan. Kilang tidak dijadikan sebagai titik bekalan dan titik permintaan walaupun dalam situasi sebenar kilang-kilang merupakan titik bekalan dan titik permintaan memandangkan data yang terhad dan dalam usaha untuk mendapatkan model ringkas tetapi "baik". Tambahan lagi, kos pengangkutan bagi setiap pusat pengedaran ke kilang-kilang di bawah tanggungjawab masing-masing adalah tidak jauh berbeza kerana faktor jarak antara pusat pengedaran dengan kilang-kilang (masih dalam negeri atau kawasan yang sama). Kos seunit penghantaran adalah bergantung kepada jarak. Oleh itu, kekurangan ini tidak memberikan kesan yang ketara ke atas model yang akan dibina. Dengan lain perkataan, mereka merupakan pembolehubah yang tidak bermakna.

3.1. Proses perumusan masalah secara kuantitatif

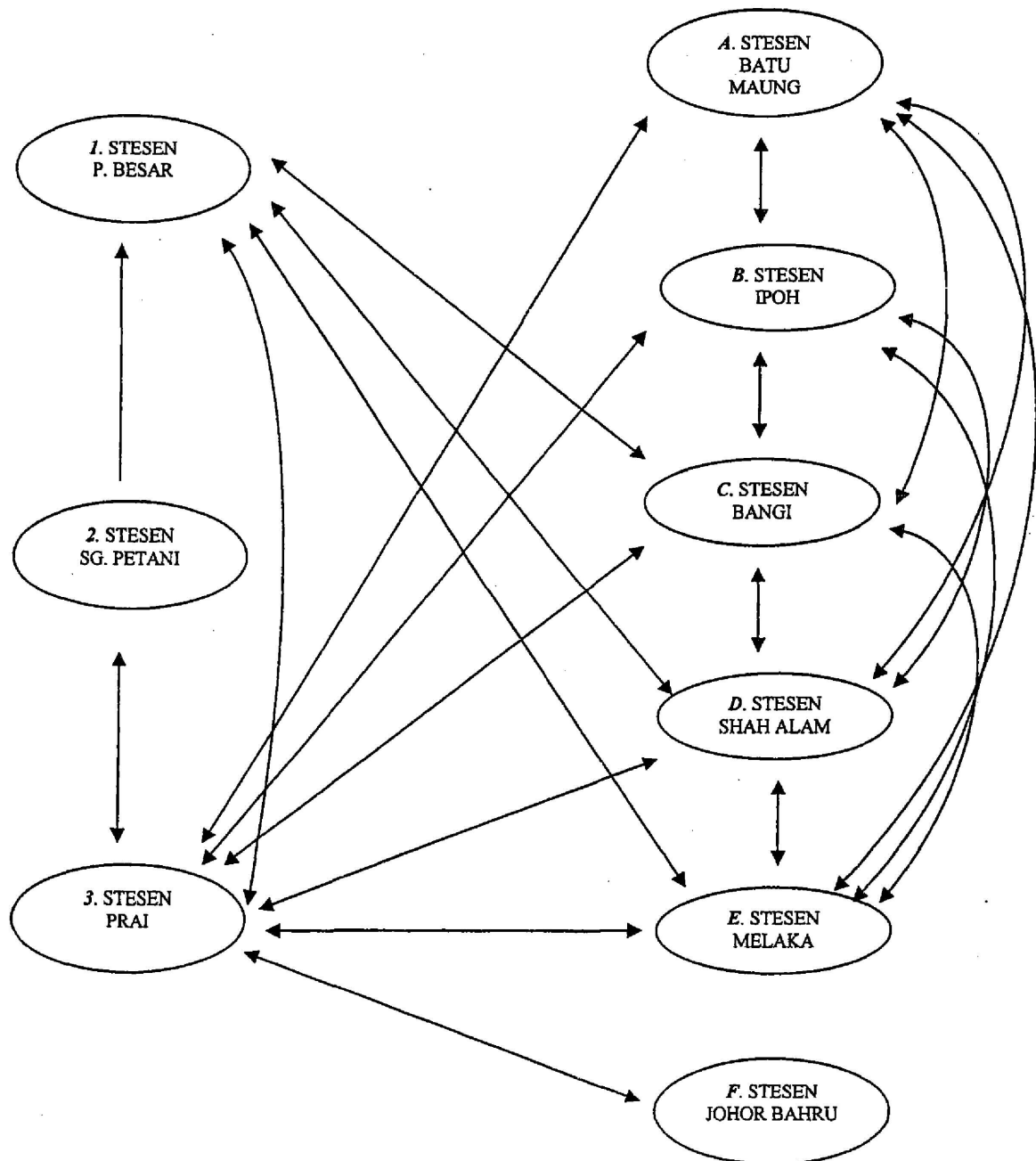
3.1.1. Model matlamat tunggal

Proses pengangkutan bermula dari pusat pengedaran barangan organisasi di mana semua produk dari kilang yang hendak diangkut dikumpulkan di sini. Produk-produk ini dihantar secara terus atau melalui proses pemunggaran sebelum dihantar ke pusat pengedaran barangan yang berikutnya dan kemudian diedarkan ke kilang-kilang.

Kajian hanya melibatkan sembilan pusat pengedaran organisasi iaitu di Padang Besar, Sungai Petani, Prai, Batu Maung, Ipoh, Bangi, Shah Alam, Melaka dan Johor Bahru. Prai bukan sahaja bertindak sebagai pusat pengedaran tetapi juga merupakan gudang organisasi. Kemampuan setiap pusat pengedaran menerima barang (dibundarkan kepada unit kg terdekat) ialah di Padang Besar-30720 kg, Sungai Petani-12800 kg, Batu Maung-10240 kg, Ipoh-12800 kg, Bangi-25600 kg, Shah Alam-10240 kg, Melaka-7680 kg, Johor Bahru-30720 kg dan Prai-128,000 kg. Titik bekalan (*punca*) diwakili oleh pusat pengedaran Padang Besar, Sungai Petani dan Prai manakala titik permintaan (*destinasi*) diwakili oleh pusat pengedaran Batu Maung, Ipoh, Bangi, Shah Alam, Melaka dan Johor Bahru. Bekalan yang diterima sama ada dihantar terus atau melalui gudang di Prai terlebih dahulu sebelum tiba di destinasi. Barang-barang yang tiba digudang akan dipindahkan ke dalam trak yang berlainan sebelum diedarkan ke pusat pengedaran ke Batu Maung, Ipoh, Bangi, Shah Alam, Melaka dan Johor Bahru. Jika wujud keadaan di mana trak tidak mencukupi untuk menghantar bekalan pada suatu hari tertentu, organisasi akan menyewa trak dari syarikat-syarikat pengangkutan lain untuk menghantar bekalan memandangkan organisasi sedaya-upaya mengelakkan penyimpanan bekalan di setiap pusat pengedarannya. Setiap bekalan yang

diterima akan terus dihantar ke setiap destinasi dengan kadar yang paling segera, seboleh-bolehnya tiba di lokasi permintaan pada hari yang sama atau keesokannya bagi destinasi yang agak jauh.

Dapat diperhatikan, organisasi tidak hanya menawarkan perkhidmatan pengangkutan barangan secara terus dari titik bekalan ke titik permintaan tetapi juga proses pengangkutan yang melibatkan sekurang-kurangnya satu titik pemunggahan sebelum barangan tiba di destinasi. Titik pemunggahan boleh diwakili oleh setiap pusat pengedaran. Situasi ini dikenali sebagai masalah pemunggahan di mana wujud titik pemunggahan di antara titik bekalan dengan titik permintaan. Gambaran laluan yang berkemungkinan digunakan untuk proses pengangkutan organisasi adalah seperti Rajah 1.



Rajah 1. Laluan-laluan alternatif untuk mengangkut barangan.

Dalam kajian ini, satu “unit pengangkutan” ditakrifkan sebagai suatu muatan penuh trak. Memandangkan unit bekalan dan unit permintaan mesti konsisten dengan takrif unit pengangkutan, maka bekalan dan permintaan adalah dalam jumlah trak yang diperlukan untuk mengangkut bekalan dan permintaan dalam sehari.

Untuk memudahkan proses permodelan beberapa andaian perlu dilakukan. Kami membuat andaian bahawa setiap penghantaran menggunakan trak bersaiz sama iaitu 20x8 kaki. Oleh itu, kos seunit penghantaran adalah mengikut trak jenis ini seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Kos seunit penghantaran adalah dalam unit ringgit Malaysia (RM). Kod berangka digunakan untuk mewakili (1)-Padang Besar, (2)-Sungai Petani, (3)-Prai dan kod huruf mewakili (A)-Batu Maung, (B)-Ipoh, (C)-Bangi, (D)-Shah Alam, (E)-Melaka dan (F)-Johor Bahru. Kami turut membuat andaian bahawa setiap bekalan mempunyai bentuk fizikal yang sama dan setiap bekalan yang dihantar dari kilang-kilang yang berlainan ke pusat pengedaran Padang Besar, Sungai Petani dan Prai adalah dari jenis barangan yang sama untuk memenuhi setiap permintaan terhadap barangan jenis tersebut.

Perhatikan bahawa, proses pengangkutan barangan dari pusat pengedaran Padang Besar ke pusat pengedaran Shah Alam secara terus ialah pada kos RM 1200. Bagaimanapun, wujud kemungkinan lain untuk mengangkut barangan daripada pusat pengedaran Padang Besar ke pusat pengedaran Shah Alam yang melibatkan titik pemunggahan iaitu dari pusat pengedaran Padang Besar ke Prai, barangan ditukar ke trak yang berlainan untuk dihantar ke pusat pengedaran Bangi, kemudian ditukar sekali lagi untuk dihantar ke pusat pengedaran Shah Alam. Kos pengangkutan (RM400 + RM600 + RM150) = RM 1150, iaitu penjimatan kos sebanyak RM50. Ini hanya merupakan salah satu daripada kemungkinan-kemungkinan yang wujud untuk mengangkut barangan secara tak terus daripada pusat pengedaran padang Besar ke pusat pengedaran Shah Alam yang perlu dipertimbangkan sekiranya pusat pengedaran Padang Besar perlu menghantar barangan ke pusat pengedaran Shah Alam.

Secara keseluruhannya, fungsi objektif masalah adalah untuk mendapatkan rancangan pengangkutan yang akan menghantar output dari pusat pengedaran Padang Besar, Sungai Petani dan Prai untuk memenuhi permintaan pusat pengedaran Batu Maung, Ipoh, Bangi, Shah Alam, Melaka dan Johor Bahru pada kos pengangkutan yang minimum. Pembolehubah keputusan yang terlibat ialah x_{ij} sebagai bilangan unit yang dihantar dari titik bekalan i ke titik permintaan j setiap hari di mana $i = 1, 2, \dots, 9$ dan $j = 1, 2, \dots, 9$. Kekangan-kekangan yang terlibat ialah kekangan bekalan, kekangan permintaan dan kekangan mantik.

Jadual 1. Kos pengangkutan seunit (masalah pemunggahan).

	1	2	3	A	B	C	D	E	F	Bekalan
1	0	....	400	....	....	1100	1200	1400	....	6
2	300	0	130	....	....	....	....	....	....	2
3	400	120	0	130	430	600	650	700	1000	10
A	....	....	130	0	450	550	550	650	....
B	....	....	400	450	0	450	450	550	....
C	990	....	550	550	450	0	150	350	....
D	1000	....	500	550	450	100	0	350	....
E	1300	....	650	650	550	350	350	0	....
F	....	....	960	....	....	....	....	....	0	
Permintaan				4	2	6	1	3	2	

(Nota : tanda (....) menunjukkan bahawa pengangkutan terus tidak mungkin berlaku)

Proses memodelkan masalah pemunggahan sebagai masalah pengangkutan perlu dilakukan terlebih dahulu memandangkan corak pengangkutan organisasi yang dipilih melibatkan titik pemunggahan. Semua lokasi yang dipertimbangkan berpotensi untuk menjadi punca dan destinasi bagi proses pengangkutan. Oleh itu, masalah mempunyai 9 punca dan 9 destinasi, dengan kos seunit pengangkutan diberikan dalam Jadual 1. Jadual 2 akan menunjukkan secara keseluruhan masalah pengangkutan yang diformulasikan daripada masalah pemunggahan. Kod berangka digunakan untuk mewakili pusat-pusat pengedaran yang bertindak sebagai punca dan destinasi di mana (1)-Padang Besar, (2)-Sungai Petani, (3)-Prai, (4)-Batu Maung, (5)-Ipoh, (6)-Bangi, (7)-Shah Alam, (8)-Melaka dan (9)-Johor Bahru.

Jadual 2: Kos pengangkutan seunit (masalah pengangkutan).

KEPADA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Bekalan
1	0	M	400	M	M	1100	1200	1400	M	24
2	300	0	130	M	M	M	M	M	M	20
3	400	120	0	130	430	600	650	700	1000	28
4	M	M	130	0	450	550	550	650	M	18
DARI 5	M	M	400	450	0	450	450	550	M	18
6	990	M	550	550	450	0	150	350	M	18
7	1000	M	500	550	450	100	0	350	M	18
8	1300	M	650	650	550	350	350	0	M	18
9	M	M	960	M	M	M	M	M	0	18
Permintaan	18	18	18	22	20	24	19	21	20	180

(Nota : tanda M menunjukkan bahawa kos seunit pengangkutan yang amat besar)

Model pengaturcaraan linear bagi mewakili masalah kajian ialah seperti berikut :

minimumkan $z = 0x_{11} + Mx_{12} + 400x_{13} + Mx_{14} + Mx_{15} + 1100x_{16} + 1200x_{17} + 1400x_{18} + Mx_{19} + 300x_{21} + 0x_{22} + 130x_{23} + Mx_{24} + Mx_{25} + Mx_{26} + Mx_{27} + Mx_{28} + Mx_{29} + 400x_{31} + 120x_{32} + 0x_{33} + 130x_{34} + 430x_{35} + 600x_{36} + 650x_{37} + 700x_{38} + 1000x_{39} + Mx_{41} + Mx_{42} + 130x_{43} + 0x_{44} + 450x_{45} + 550x_{46} + 550x_{47} + 650x_{48} + Mx_{49} + Mx_{51} + Mx_{52} + 400x_{53} + 450x_{54} + 0x_{55} + 450x_{56} + 450x_{57} + 550x_{58} + Mx_{59} + 990x_{61} + Mx_{62} + 550x_{63} + 550x_{64} + 450x_{65} + 0x_{66} + 150x_{67} + 350x_{68} + Mx_{69} + 1000x_{71} + Mx_{72} + 500x_{73} + 550x_{74} + 450x_{75} + 100x_{76} + 0x_{77} + 350x_{78} + Mx_{79} + 1300x_{81} + Mx_{82} + 650x_{83} + 650x_{84} + 550x_{85} + 350x_{86} + 350x_{87} + 0x_{88} + Mx_{89} + Mx_{91} + Mx_{92} + 960x_{93} + Mx_{93} + Mx_{94} + Mx_{95} + Mx_{96} + Mx_{97} + Mx_{98} + Mx_{99}$

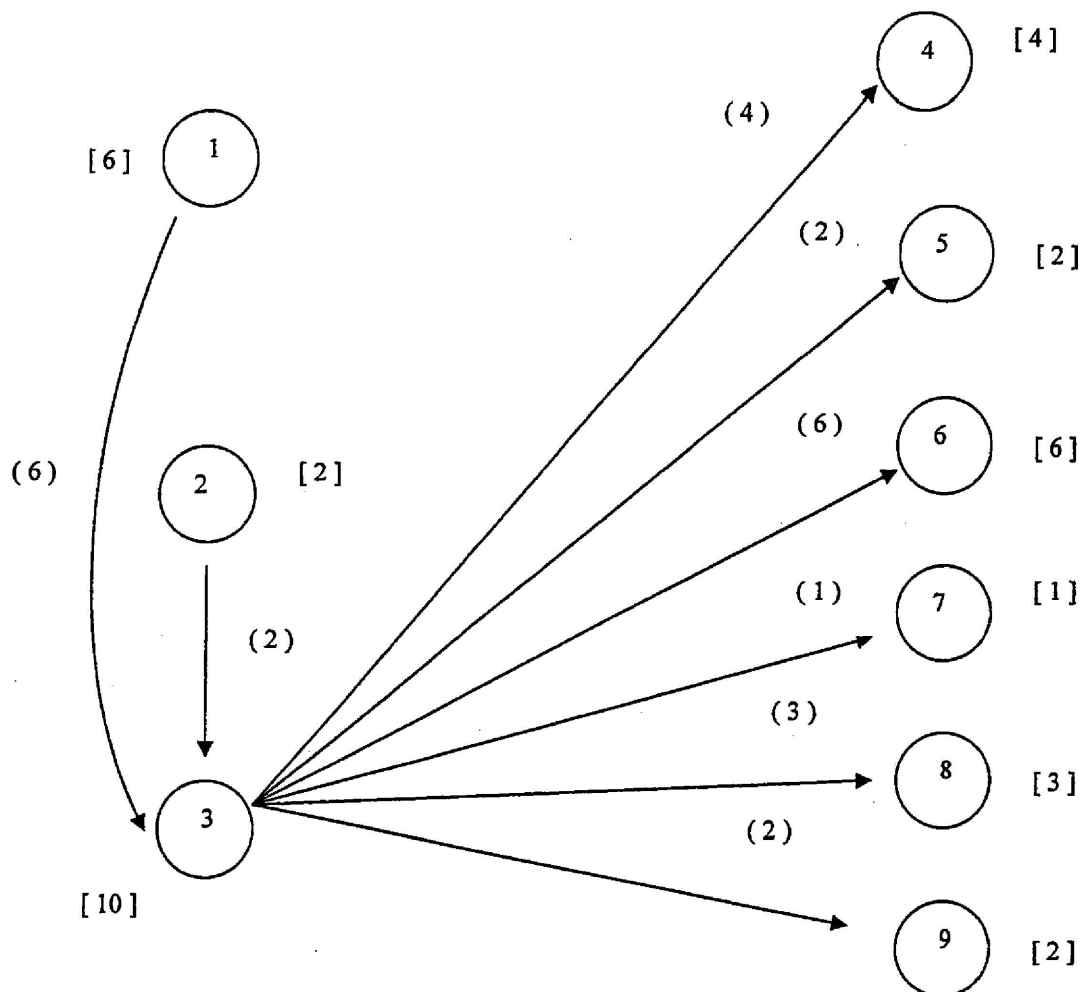
terhadap

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} &= 24 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} &= 20 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} &= 28 \\ x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{49} &= 18 \\ x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} + x_{58} + x_{59} &= 18 \\ x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} + x_{67} + x_{68} + x_{69} &= 18 \\ x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} + x_{77} + x_{78} + x_{79} &= 18 \\ x_{81} + x_{82} + x_{83} + x_{84} + x_{85} + x_{86} + x_{87} + x_{88} + x_{89} &= 18 \\ x_{91} + x_{92} + x_{93} + x_{94} + x_{95} + x_{96} + x_{97} + x_{98} + x_{99} &= 18 \text{ (kekangan bekalan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} + x_{91} &= 18 \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} + x_{92} &= 18 \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} + x_{83} + x_{93} &= 18 \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} + x_{84} + x_{94} &= 22 \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} + x_{85} + x_{95} &= 20 \\ x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} + x_{76} + x_{86} + x_{96} &= 24 \\ x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} + x_{77} + x_{87} + x_{97} &= 19 \\ x_{18} + x_{28} + x_{38} + x_{48} + x_{58} + x_{68} + x_{78} + x_{88} + x_{98} &= 21 \\ x_{19} + x_{29} + x_{39} + x_{49} + x_{59} + x_{69} + x_{79} + x_{89} + x_{99} &= 20 \text{ (kekangan permintaan)} \end{aligned}$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ bagi } i = 1, 2, \dots, 9 \text{ dan } j = 1, 2, \dots, 9 \quad \text{(kekangan mantik)}$$

Kaedah penyelesaian khas untuk model pengangkutan digunakan untuk menyelesaikan masalah pengangkutan kita. Penyelesaian optimum yang diperolehi ialah seperti Rajah 2.



Rajah 2. Penyelesaian optimum yang diperolehi.

Pusat pengedaran Padang Besar menghantar keluar bekalan sebanyak 6 buah trak kepada pusat pengedaran Prai. Pusat pengedaran Sungai Petani pula menghantar bekalan sebanyak 2 buah trak ke pusat pengedaran Prai. Daripada pusat pengedaran Prai, 4 buah trak ke pusat pengedaran Batu Maung, 2 buah ke pusat pengedaran Ipoh, 6 buah ke pusat pengedaran Bangi, sebuah ke pusat pengedaran Shah Alam, 3 buah ke pusat pengedaran Melaka dan 2 buah ke pusat pengedaran Johor Bahru bagi memenuhi permintaan di pusat-pusat pengedaran masing-masing. Perhatikan bahawa 8 bekalan daripada bekalan yang dihantar kepada pusat pengedaran Batu Maung, Ipoh, Bangi, Shah Alam, Melaka dan Johor Bahru datangnya melalui pusat pengedaran Padang Besar dan Sungai Petani. Maka, pusat pengedaran Prai menjadi titik pemunggahan bekalan. Titik pemunggahan (Prai) mempunyai satu aliran keluar bersih; apa jua aliran ke dalam titik pemunggahan mesti meninggalkan titik tersebut. Kos penyelesaian ialah sebanyak RM 12390.

Untuk tujuan perbandingan, kami turut mengkaji kos pengangkutan sekiranya organisasi ingin menghantar terus setiap bekalannya ke setiap destinasi tanpa titik pemunggahan. Di dapati kos yang paling minimum boleh di hasilkan sangat tinggi berbanding menggunakan titik pemunggahan.

Kesimpulannya, laluan dengan titik pemunggahan yang telah dimodelkan adalah yang terbaik bagi organisasi untuk meminimumkan kos pengangkutan.

3.1.2. Model matlamat berbilang

Kajian ini turut mempertimbangkan pendekatan matlamat berbilang untuk mendapatkan model yang lebih baik (jika boleh). Penumpuan dalam bahagian ini adalah penukaran model asas kepada model pengaturcaraan linear matlamat berbilang bersama-sama dengan beberapa andaian yang perlu dibuat, menyelesaikan model dan seterusnya menganalisis penyelesaian. Teknik penyelesaian yang akan digunakan ialah kaedah pengaturcaraan gol.

Dalam keadaan sebenar, selalunya matlamat sesebuah organisasi bukan hanya meminimumkan kos pengangkutan tetapi wujud beberapa matlamat lain yang perlu dipertimbangkan. Sebelum ini hanya matlamat tunggal dipertimbangkan, namun dalam bahagian ini kami akan membina model dengan mempertimbangkan lebih daripada satu matlamat bagi organisasi kajian. Berdasarkan perbualan dengan perancang organisasi, kami menetapkan matlamat berikut :

- (1) Setiap titik permintaan mesti dipenuhi dengan jumlah bekalan adalah sama dengan jumlah permintaan sehari (tiada lebih stok berlaku).
- (2) Keuntungan bersih perlu dimaksimumkan.
- (3) Kos penggunaan minyak diesel perlu diminimumkan.

Model pengaturcaraan gol dibina dengan semua maklumat kos seunit penghantaran, keuntungan bersih seunit, kos seunit penggunaan minyak diesel dari setiap punca ke setiap destinasi dan nilai aras aspirasi bagi setiap matlamat diperolehi daripada organisasi kajian.

Proses pembinaan model pengaturcaraan gol linear dimulakan dengan mengandaikan

- x_1 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Padang Besar ke Prai
- x_2 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Sungai Petani ke Prai
- x_3 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Prai ke Batu Maung
- x_4 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Ipoh ke Batu Maung
- x_5 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Bangi ke Batu Maung
- x_6 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Shah Alam ke Batu Maung
- x_7 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Melaka ke Batu Maung
- x_8 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Prai ke Ipoh
- x_9 = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Batu Maung ke Ipoh
- x_{10} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Bangi ke Ipoh
- x_{11} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Shah Alam ke Ipoh
- x_{12} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Melaka ke Ipoh
- x_{13} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Padang Besar ke Bangi
- x_{14} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Prai ke Bangi
- x_{15} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Batu Maung ke Bangi
- x_{16} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Ipoh ke Bangi
- x_{17} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Shah Alam ke Bangi
- x_{18} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Melaka ke Bangi
- x_{19} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Padang Besar ke Shah Alam
- x_{20} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Prai ke Shah Alam
- x_{21} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Batu Maung ke Shah Alam
- x_{22} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Ipoh ke Shah Alam
- x_{23} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Bangi ke Shah Alam
- x_{24} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Melaka ke Shah Alam
- x_{25} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Padang Besar ke Melaka
- x_{26} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Prai ke Melaka
- x_{27} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Batu Maung ke Melaka
- x_{28} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Ipoh ke Melaka
- x_{29} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Bangi ke Melaka
- x_{30} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Shah Alam ke Melaka

x_{31} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Prai ke Johor Bahru

x_{32} = jumlah unit bekalan yang diangkut dari Sungai Petani ke Padang Besar

Model pengaturcaraan gol linear yang terhasil ialah:

$$\text{meminimumkan } z = P_1(\eta_1 + \rho_1 + \eta_2 + \rho_2 + \eta_3 + \rho_3 + \eta_4 + \rho_4 + \eta_5 + \rho_5 + \eta_6 + \rho_6 + \eta_7 + \rho_7 + \eta_8 + \rho_8 + \eta_9 + \rho_9) + P_2 \rho_{10} + P_3 \eta_{11} + P_4 \rho_{12} \quad (1)$$

terhadap

$$x_1 + x_{13} + x_{19} + x_{25} - x_{32} + \eta_1 - \rho_1 = 6 \quad (2)$$

$$x_2 + \eta_2 - \rho_2 = 2 \quad (3)$$

$$x_3 + x_8 + x_{14} + x_{20} + x_{26} + x_{31} - x_1 - x_2 + \eta_3 - \rho_3 = 10 \quad (4)$$

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 - x_9 - x_{15} - x_{21} - x_{27} + \eta_4 - \rho_4 = 4 \quad (5)$$

$$x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} - x_4 - x_{16} - x_{22} - x_{28} + \eta_5 - \rho_5 = 2 \quad (6)$$

$$x_{14} + x_{13} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{15} - x_{10} - x_5 - x_{23} - x_{29} + \eta_6 - \rho_6 = 6 \quad (7)$$

$$x_{20} + x_{19} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} - x_6 - x_{11} - x_{17} - x_{30} + \eta_7 - \rho_7 = 1 \quad (8)$$

$$x_{26} + x_{25} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} - x_7 - x_{12} - x_{18} - x_{24} + \eta_8 - \rho_8 = 3 \quad (9)$$

$$x_{31} + \eta_9 - \rho_9 = 2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &400x_1 + 130x_2 + 130x_3 + 450x_4 + 550x_5 + 550x_6 + 650x_7 + 430x_8 + 450x_9 + 450x_{10} + 450x_{11} + 550x_{12} \\ &+ 1100x_{13} + 600x_{14} + 550x_{15} + 450x_{16} + 100x_{17} + 350x_{18} + 1200x_{19} + 650x_{20} + 550x_{21} + 450x_{22} + \\ &150x_{23} + 350x_{24} + 1400x_{25} + 700x_{26} + 650x_{27} + 550x_{28} + 350x_{29} + 350x_{30} + 1000x_{31} + 130x_{32} + \eta_{10} \\ &- \rho_{10} = 12000 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &140x_1 + 46x_2 + 46x_3 + 158x_4 + 220x_5 + 220x_6 + 260x_7 + 151x_8 + 158x_9 + 180x_{10} + 180x_{11} + 220x_{12} \\ &+ 440x_{13} + 240x_{14} + 220x_{15} + 180x_{16} + 35x_{17} + 123x_{18} + 480x_{19} + 260x_{20} + 220x_{21} + 80x_{22} + 53x_{23} \\ &+ 123x_{24} + 560x_{25} + 280x_{26} + 260x_{27} + 220x_{28} + 123x_{29} + 123x_{30} + 400x_{31} + 50x_{32} + \eta_{11} - \rho_{11} = 5000 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} &40x_1 + 30x_2 + 10x_3 + 60x_4 + 100x_5 + 100x_6 + 130x_7 + 50x_8 + 60x_9 + 70x_{10} + 70x_{11} + 100x_{12} + 130x_{13} \\ &+ 80x_{14} + 100x_{15} + 70x_{16} + 10x_{17} + 40x_{18} + 150x_{19} + 80x_{20} + 100x_{21} + 70x_{22} + 10x_{23} + 30x_{24} + 180x_{25} \\ &+ 120x_{26} + 130x_{27} + 100x_{28} + 40x_{29} + 30x_{30} + 180x_{31} \\ &+ 30x_{32} + \eta_{12} - \rho_{12} = 1800 \end{aligned} \quad (13)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 32 \quad (14)$$

$$\eta_j, \rho_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (15)$$

di mana η ialah sisihan negatif dan ρ ialah sisihan positif.

(Nota : P_1, P_2, P_3, P_4 ialah prioriti dan bukan suatu pembolehubah kawalan)

Pengiraan yang melibatkan bilangan pembolehubah yang begitu banyak dibantu oleh perisian *QM for Windows*.

Penyelesaian bagi model yang telah dibina dari (1) sehingga (15) ialah :

$$\begin{array}{llllll} x_1 = 6 & x_2 = 2 & x_3 = 4 & x_4 = 0 & x_5 = 0 & x_6 = 0 \\ x_7 = 0 & x_8 = 2 & x_9 = 0 & x_{10} = 0 & x_{11} = 0 & x_{12} = 0 \\ x_{13} = 0 & x_{14} = 6 & x_{15} = 0 & x_{16} = 0 & x_{17} = 0 & x_{18} = 0 \\ x_{19} = 0 & x_{20} = 1 & x_{21} = 0 & x_{22} = 0 & x_{23} = 0 & x_{24} = 0 \\ x_{25} = 0 & x_{26} = 3 & x_{27} = 0 & x_{28} = 0 & x_{29} = 0 & x_{30} = 0 \\ x_{31} = 2 & x_{32} = 0 & & & & \end{array}$$

Penyelesaian yang diperolehi adalah sama dengan penyelesaian model matlamat tunggal (jika dilukis secara ilustrasi bergraf adalah seperti Rajah 2) yang telah dibina sebelum ini. Dengan ini, kami menjadi lebih yakin terhadap model matlamat tunggal yang dibina di mana model tersebut adalah yang terbaik.

4. Analisis Kepekaan

Dalam dunia nyata, pihak pengurusan terpaksa berhadapan dengan keadaan semasa dan keadaan akan datang yang sentiasa berubah-ubah. Oleh itu, penyelesaian optimum yang statik menjadi tidak berguna apabila syarat-syarat yang mengasas pembinaan model berubah. Data yang digunakan dalam pembinaan model pengaturcaraan linear mungkin berubah mengikut masa. Maka pihak pengurusan perlu mengetahui tahap kepekaan penyelesaian optimum terhadap nilai perubahan tersebut. Satu pendekatan yang dikenali sebagai analisis kepekaan perlu dilaksanakan untuk mendapatkan maklumat tersebut.

4.1 Analisis kepekaan untuk matlamat tunggal

Selepas mendapat penyelesaian optimum, pihak pengurusan organisasi berminat untuk mengkaji beberapa keadaan yang mungkin berlaku dan akan mempengaruhi model yang diperolehi. Tiga aspek analisis kepekaan dibincangkan untuk masalah pengangkutan organisasi seperti berikut:

Pertukaran 1 Menukar pekali fungsi objektif pembolehubah bukan asas.

Pertukaran 2 Menukar pekali fungsi objektif pembolehubah asas.

Pertukaran 3 Menambah bekalan tunggal dengan Δ dan permintaan tunggal dengan Δ .

- Pertukaran 1

Organisasi mungkin mengubah kos penghantaran seunit daripada pusat pengedaran Batu Maung ke pusat-pusat pengedaran seterusnya memandangkan terdapat khabar angin bahawa harga tol untuk menyeberangi jambatan akan dinaikkan. Organisasi terpaksa menaikkan kos penghantaran kerana tidak ada laluan alternatif lain untuk menyeberangi jambatan. Setelah diuji, organisasi boleh menaikkan kos seunit penghantaran dari Batu Maung ke Ipoh, Shah Alam dan Melaka tanpa mengubah penyelesaian optimum yang telah dicapai.

- Pertukaran 2

Organisasi akan menaikkan kos seunit pengangkutan sekiranya pihak kerajaan menaikkan harga minyak diesel. Perubahan kos seunit yang boleh dilakukan dengan penyelesaian semasa tetap optimum untuk penghantaran daripada suatu pusat pengedaran kepada pusat pengedaran lain diberikan dalam Jadual 3.

Jadual 3: Perubahan kos seunit pengangkutan.

Proses penghantaran	Perubahan yang boleh dilakukan	Kos seunit penghantaran
Padang Besar – Prai	$-570 \leq \Delta \leq 100$	$-170 \leq c_{13} \leq 500$
Sungai Petani – Prai	$-250 \leq \Delta \leq 570$	$-120 \leq c_{23} \leq 700$
Prai – Batu Maung	$-30 \leq \Delta \leq 750$	$100 \leq c_{34} \leq 880$
Prai – Ipoh	$-230 \leq \Delta \leq 150$	$200 \leq c_{35} \leq 580$
Prai – Bangi	$-100 \leq \Delta \leq 80$	$500 \leq c_{36} \leq 680$
Prai – Shah Alam	$-150 \leq \Delta \leq 30$	$500 \leq c_{37} \leq 680$
Prai – Johor Bahru	$-1960 \leq \Delta \leq M-1400$	$-960 \leq c_{39} \leq M-400$

Perhatikan bahawa terdapat kos seunit yang bernilai negatif. Oleh kerana kos seunit tidak mungkin bernilai negatif, maka nilai negatif ini diabaikan dan kos seunit paling rendah adalah RM0. Sebenarnya nilai minimum ini adalah tidak penting kerana organisasi berminat untuk menaikkan kos seunit dengan penyelesaian semasa kekal optimum.

- Pertukaran 3

Jabatan pemasaran organisasi percaya bahawa perubahan keadaan ekonomi negara yang bertambah baik sekarang akan meningkatkan permintaan kerana kuasa beli pengguna akan bertambah. Peningkatan permintaan akan dipenuhi sekiranya berlaku peningkatan dalam bekalan secara

seiringan. Tambahan lagi, jumlah permintaan dan bekalan sentiasa berubah-ubah setiap hari mengikut keperluan pelanggan memandangkan tidak semua pelanggan mengikat kontrak dengan organisasi. Oleh itu, maklumat mengenai perubahan bekalan dan permintaan yang boleh mempengaruhi penyelesaian optimum sedia ada amat penting untuk diketahui. Penambahan permintaan dan bekalan boleh dilakukan tapi untuk memastikan penyelesaian semasa tetap tersaur maka satu batas atas dan batas bawah perlu ditentukan. Hasil daripada pemeriksaan menunjukkan permintaan daripada pelanggan boleh ditambah tanpa had seiring dengan penambahan bekalan bagi pembolehubah asas tetapi bagi pembolehubah bukan asas wujud batas atas di mana penambahan bekalan atau permintaan tidak boleh melebihi nilai ini untuk memastikan penyelesaian tetap tersaur. Jadual 4 menunjukkan julat perubahan yang boleh dilakukan supaya penyelesaian optimum kekal optimum untuk pembolehubah asas manakala Jadual 5 untuk pembolehubah bukan asas. Setiap perubahan yang dilakukan ke atas permintaan ditetapkan sama nilai dengan perubahan yang dilakukan ke atas bekalan.

Jadual 4. Perubahan bekalan (permintaan) yang dibenarkan (pembolehubah asas).

Penambahan bekalan dengan Δ	Penambahan permintaan dengan Δ	Julat perubahan
Padang Besar	Prai	$\Delta \geq -6$
Sungai Petani	Prai	$\Delta \geq -2$
Prai	Batu Maung	$\Delta \geq -4$
Prai	Ipoh	$\Delta \geq -2$
Prai	Bangi	$\Delta \geq -6$
Prai	Shah Alam	$\Delta \geq -1$
Prai	Melaka	$\Delta \geq -3$
Prai	Johor Bahru	$\Delta \geq -2$

Jadual 5. Perubahan bekalan (permintaan) yang dibenarkan (pembolehubah bukan asas).

Penambahan bekalan dengan Δ	Penambahan permintaan dengan Δ	Julat perubahan
Padang Besar	Bangi	$-6 \leq \Delta \leq 10$
Padang Besar	Shah Alam	$-1 \leq \Delta \leq 10$
Padang Besar	Melaka	$-3 \leq \Delta \leq 10$
Sungai Petani	Padang Besar	$-2 \leq \Delta \leq 6$
Prai	Padang Besar	$-10 \leq \Delta \leq 6$
Prai	Sungai Petani	$-10 \leq \Delta \leq 2$
Batu Maung	Prai	$-10 \leq \Delta \leq 4$
Batu Maung	Ipoh	$-2 \leq \Delta \leq 4$
Batu Maung	Bangi	$-6 \leq \Delta \leq 4$
Batu Maung	Shah Alam	$-1 \leq \Delta \leq 4$
Batu Maung	Melaka	$-3 \leq \Delta \leq 4$
Ipoh	Prai	$-10 \leq \Delta \leq 2$
Ipoh	Batu Maung	$-4 \leq \Delta \leq 2$
Ipoh	Bangi	$-6 \leq \Delta \leq 2$
Ipoh	Shah Alam	$-1 \leq \Delta \leq 2$
Ipoh	Melaka	$-3 \leq \Delta \leq 2$
Bangi	Padang Besar	$-10 \leq \Delta \leq 6$
Bangi	Prai	$-10 \leq \Delta \leq 6$
Bangi	Batu Maung	$-4 \leq \Delta \leq 6$
Bangi	Ipoh	$-2 \leq \Delta \leq 6$
Bangi	Shah Alam	$-1 \leq \Delta \leq 6$
Bangi	Melaka	$-3 \leq \Delta \leq 6$
Shah Alam	Padang Besar	$-10 \leq \Delta \leq 1$
Shah Alam	Prai	$-10 \leq \Delta \leq 1$
Shah Alam	Batu Maung	$-4 \leq \Delta \leq 1$
Shah Alam	Ipoh	$-2 \leq \Delta \leq 1$
Shah Alam	Bangi	$-6 \leq \Delta \leq 1$
Shah Alam	Melaka	$-3 \leq \Delta \leq 1$
Melaka	Padang Besar	$-10 \leq \Delta \leq 3$
Melaka	Prai	$-10 \leq \Delta \leq 3$
Melaka	Batu Maung	$-4 \leq \Delta \leq 3$
Melaka	Ipoh	$-2 \leq \Delta \leq 3$
Melaka	Bangi	$-6 \leq \Delta \leq 3$
Melaka	Shah Alam	$-1 \leq \Delta \leq 3$

(Nota: Pertimbangkan nilai yang lebih besar daripada sifar kerana kita menambah bekalan dan permintaan)

5. Pengesahan Model

Model yang dicadangkan akan disemak sama ada ianya menghasilkan penyelesaian seperti prestasi sistem yang dikaji. Dengan kata lain, untuk memastikan bahawa model yang dibina memberikan hasil penyelesaian yang munasabah (boleh diterima akal), walaupun tidak mewakili sistem dengan tepat. Kaedah yang bersesuaian untuk kajian kita ialah pendekatan simulasi. Dengan bantuan perisian *QM for Windows*, kesimpulan yang dapat di buat ialah model yang dibina adalah sah kerana dapat memberi telahan yang wajar mengenai prestasi sistem, walaupun model tidak mewakili sistem dengan tepat. Seterusnya, model yang dibina boleh dilaksanakan dengan menyelidik operasi menterjemahkan kesudahan kepada arahan pengoperasian yang mudah difahami terlebih dahulu.

6. Kesimpulan

Pembinaan model amat penting untuk menilai beberapa tindakan alternatif memandangkan sebarang cubaan terus melibatkan kos yang besar. Oleh itu, model memainkan peranan penting dalam proses pembuatan keputusan. Atas alasan inilah, kajian ini dilakukan bagi menghasilkan satu model terbaik untuk mewakili organisasi pilihan.

Satu rancangan pengangkutan yang memberikan arah laluan perjalanan pada kos pengangkutan yang minimum diperolehi. Walaupun model ini tertakluk di bawah andaian dan ralat penganggaran, model masih mampu memberikan keputusan yang baik seperti keadaan sebenar.

Rujukan

- Abdul Halim Ali. (1996). *A national workshop on the implementation of MS ISO 9000 in public sector agencies related to the transport industry*. Pan Pacific Glenmarie Resort, Shah Alam.
- Chetthamrongchai, P., Auansakul, A. & Supawan, D. (2001). Assessing the transportation problems of the sugar cane industry in Thailand. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*. 70, 31-39.
- Muhammad Harun. (1983). *Masalah/isu ekonomi pengangkutan awam di Malaysia*. Pulau Pinang: Penerbit Universiti Sains Malaysia.